

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-233894

(43)Date of publication of application : 27.08.1999

(51)Int.Cl. H01S 3/18
H01S 3/1055

(21)Application number : 10-036177 (71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 18.02.1998 (72)Inventor : NASU HIDEYUKI
OMURA HIDEYUKI

(54) VARIABLE WAVELENGTH EXTERNAL RESONATOR TYPE LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To simplify the setting of oscillating wavelength and to make the constitution of a device small.

SOLUTION: A maser light emitting element 11 comprising a laser diode, which oscillates the laser light having the specified wavelength, and an external distribution reflector 15, which comprises the crystal having Pockels effect and wherein a grating 21 is formed at the same time, are optically coupled. A voltage is applied from a DC voltage source 16 to the outer distribution reflector 15. By controlling the applied voltage variably, the effective refractive index of the crystal is changed. By changing the Bragg wavelength or the reflected optical wave, the oscillating wavelength of the laser light, which is oscillated at the single longitudinal mode is variably controlled. The resonator length is shortened and the relaxation oscillation frequency is made high.

Thus, the direct modulation can be performed.

LEGAL STATUS [Date of request for examination]
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or
application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPI are not responsible for any
damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect
the original precisely.
 - 2.**** shows the word which can not be translated.
 - 3.In the drawings, any words are not translated.
-

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] In the wavelength adjustable external resonator mold laser which optical coupling is carried out to an optical fiber so that transmission of a light wave may be possible, wavelength oscillates the laser beam of a single mode from among adjustable light waves, and is transmitted to said optical fiber. The external distribution reflector which consists of the quality of the material in which the grating which reflects the light wave of different Bragg wavelength according to the electrical potential difference impressed was formed. An armature-voltage control means to control to adjustable the electrical potential difference impressed to said external distribution reflector. Wavelength adjustable external resonator mold laser characterized by having the laser light emitting device which it has the reflector in

which the produced light wave is reflected, and this light wave is resonated between this reflector and said grating, and oscillates the laser beam of predetermined wavelength.

[Claim 2] Said wavelength adjustable external resonator mold laser is wavelength adjustable external resonator mold laser according to claim 1 characterized by having a temperature detection means to detect the temperature of said external distribution reflector, and a temperature control means to control the temperature of said external distribution reflector to predetermined temperature according to said detected temperature.

[Claim 3] In the wavelength adjustable external resonator mold laser which optical coupling is carried out to an optical fiber so that transmission of a light wave may be possible, wavelength oscillates the laser beam of a single mode from among adjustable light waves, and is transmitted to said optical fiber. The external distribution reflector which consists of the quality of the material in which the grating which reflects the light wave of different Bragg wavelength according to temperature was formed, A temperature detection means to detect the temperature of said external distribution reflector, and a temperature control means to control the temperature of said external distribution reflector to adjustable according to said detected temperature, Wavelength adjustable external resonator mold laser characterized by having the laser light emitting device which it has the reflector in which the produced light wave is reflected, and this light wave is resonated between this reflector and said grating, and oscillates the laser beam of predetermined wavelength.

[Claim 4] The quality of the material of said external distribution reflector is wavelength adjustable external resonator mold laser according to claim 1 to 3 characterized by consisting of a crystal which has the electro-optical effect.

[Claim 5] the threshold current I_{th} of said laser light emitting device --
$$I_{th}=eVaBeff[[-\alpha_1L_1-/(1+L_1)\ln(1/\tau_2C_{out}2rhrB)]-g'+N_g]$$

By carrying out, the total optical output P_0 of the laser to an inrush current I is set to
$$P_0=etadEg(I-I_{th})$$
 $Eg=h\nu$, external differential-quantum-efficiency $etad$ uses internal-quantum-efficiency $etain$ of laser, and it is
$$etad=etain\alpha/(alpha_1+\alpha)$$
.

$$= etain [(1/L_1)\ln(1/\tau_2C_{out}2rhrB)/[\alpha_1+(1/L_1)\ln(1/\tau_2C_{out}2rhrB)]]$$

When it expresses and the optical output of P_{front} and a rear face is expressed for a front optical output as P_{back} at this time, it is $P_{front}/P_{back}=[(1-R_B)/(1-R_h)]\sqrt{(R_h/R_B)}$.

Wavelength adjustable external resonator mold laser according to claim 1 or 2 characterized by becoming.

[Claim 6] the threshold current I_{th} of said laser light emitting device --
$$I_{th}=eVaBeff[[-\alpha_1L_1-/(1+L_1)\ln(1/\tau_2C_{out}2rlrB)]-g'+N_g]$$

By carrying out, the total optical output P_0 of the laser to an inrush current I is set to

$P_0 = \eta_{ext} \eta_g (I - I_{th})$ $\eta_g = h\nu$, external differential-quantum-efficiency η_{ext} uses internal-quantum-efficiency η_{int} of laser, and it is $\eta_{ext} = \eta_{int} \alpha_{ph}/(\alpha_1 + \alpha_{ph})$.

$$= \eta_{int} [(1 / L_1) \ln(1 - \tau_a^2 C_{out}^2 R_l R_B) / [\alpha_1 + (1 / L_1) \ln(1 - \tau_a^2 C_{out}^2 R_l R_B)]]$$

When it expresses and the optical output of P_{front} and a rear face is expressed for a front optical output as P_{back} at this time, it is $P_{front}/P_{back} = [(1 - R_l) / (1 - R_B)]$ root (R_B/R_l) .

Wavelength adjustable external resonator mold laser according to claim 1 or 2 characterized by becoming.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the wavelength adjustable external resonator mold laser with which wavelength oscillates the laser beam of the request wavelength of a single mode from among adjustable laser beams.

[0002]

[A related background technique] As there is laser of the single longitudinal mode of an external resonator mold among this kind of the laser, for example, it is conventionally shown in drawing 9. Use a grating (concave grating) for the external distribution reflector 10, and this grating 10 is arranged to the laser light emitting device 11 exterior which consists of a laser diode. While resonating the light wave produced between the grating 10 and the low reflector 12, by changing the include angle theta of a grating 10, reflected wave length was changed and the oscillation wavelength of the laser beam oscillated to the optical fiber 20 which is a light guide line was adjusted. In addition, 13 and 14 are the optical lenses for condensing a light wave.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, it is necessary to move the include angle of a grating mechanically by the above-mentioned laser. That is, include-angle adjustment of the grating may be carried out using a micrometer head or a screw by hand control. In such a case, setting it as the wavelength of arbitration had the trouble of not being simple, it is difficult to tune finely and difficult.

[0004] Moreover, in order to raise the simple nature of a wavelength setup, drive systems, such as a motor, were used, the grating was driven, there were some which carry out include-angle adjustment, but since stability was bad and was drive systems, such as a motor, there was a trouble that equipment became large and manufacture

cost became high. Furthermore, since the configuration of optical system and a drive system is large, the die length of the resonator which consists of a grating and a reflector of a laser light emitting device becomes long, and a photon life becomes long. As the result, the relaxation oscillation frequency occurred in low frequency, and the trouble that a direct modulation signal could not be impressed to the above-mentioned laser light emitting device, and a lightwave signal could not be modulated also had it.

[0005] This invention was made in view of the above-mentioned trouble, and its setup of oscillation wavelength is simple, and it aims at offering the wavelength adjustable external resonator mold laser which can make an equipment configuration small. Moreover, other purposes of this invention are to offer the wavelength adjustable external resonator mold laser whose direct modulation shortens cavity length, and can make a relaxation oscillation frequency high, and is possible.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, by this invention, optical coupling is carried out to an optical fiber so that transmission of a light wave may be possible. In the wavelength adjustable external resonator mold laser which wavelength oscillates the laser beam of a single mode from among adjustable laser beams, and is transmitted to said optical fiber. The external distribution reflector which consists of the quality of the material in which the grating which reflects the light wave of different Bragg wavelength according to the electrical potential difference impressed was formed, for example, the crystal which has the primary electro-optics effectiveness (the so-called Pockels effect). The armature-voltage control means which consists of direct current voltage supply which controls to adjustable the electrical potential difference impressed to said external distribution reflector. It has the reflector in which said produced light wave is reflected, and the wavelength adjustable external resonator mold laser equipped with the laser light emitting device which consists of a laser diode which this light wave is resonated between this reflector and said grating, and oscillates the laser beam of predetermined wavelength is offered.

[0007] That is, while making a grating form in the crystal of lithium NAIOBEITO which has said Pockels effect by ultraviolet radiation exposure, optical coupling of the laser light emitting device is carried out to this crystal. An electrical potential difference is impressed to a crystal from direct current voltage supply, the effective refractive index of a crystal is changed by controlling the applied voltage to adjustable, the Bragg wavelength of a light wave which this reflects is changed, and the oscillation wavelength of the laser beam oscillated by the single longitudinal mode is controlled to adjustable.

[0008] Moreover, as for said wavelength adjustable external resonator mold laser, it is desirable to have a temperature detection means which consists of temperature

sensors, such as a thermistor, for example to detect the temperature of said external distribution reflector, and the temperature control means which consists of a Peltier device which controls the temperature of said external distribution reflector to predetermined temperature, and a thermal control circuit according to said detected temperature, and to make temperature of an external distribution reflector regularity. [0009] Moreover, the wavelength adjustable external resonator mold laser concerning this invention The external distribution reflector which consists of a crystal of lithium NAIODEITO in which the grating which reflects the light wave of different Bragg wavelength according to temperature was formed, The temperature sensor which detects the temperature of said external distribution reflector, and said detected temperature are embraced. It is desirable to control to adjustable the oscillation wavelength of the laser beam which it has the Peltier device and thermal control circuit which control the temperature of said external distribution reflector to adjustable, and the Bragg wavelength is changed by controlling the temperature of an external distribution reflector to adjustable, and is oscillated by the single longitudinal mode.

[0010]

[Embodiment of the Invention] The wavelength adjustable external resonator mold laser concerning this invention is explained based on the drawing of drawing 1 thru/or drawing 8 . Drawing 1 is the block diagram showing the configuration of the 1st example of the wavelength adjustable external resonator mold laser concerning this invention. In addition, in the following drawings, the same sign is written on account of explanation about the same component as drawing 9 .

[0011] In drawing 1 , wavelength adjustable external resonator mold laser constitutes the external distribution reflector 15 which consists of a crystal arranged between the laser light emitting device 11 which consists of a laser diode which is the light source, optical lenses 13 and 14, and the laser light emitting device 11 and an optical fiber 20, and the armature-voltage control means concerning this invention, and consists of direct current voltage supplies 16 which control to adjustable the electrical potential difference impressed to the external distribution reflector 15.

[0012] The laser light emitting device 11 has the barrier layer 17 with multiplex quantum well structure, and the nonreflective end face 18 and the high reflective end face 19 formed on both sides of a barrier layer 17, the crystal of lithium NAIODEITO (LiNbO₃) is used, for example, and the grating 21 is formed in the external distribution reflector 15 by [for which it has the Pockels effect] irradiating ultraviolet radiation at this crystal. Optical coupling of this crystal (external distribution reflector 15), the laser light emitting device 11, and the optical fiber 20 is carried out through optical lenses 13 and 14, a light wave arises in a barrier layer 17 according to the current poured in, by the resonator by which that light wave is formed between the high reflective end face 19 and a grating 21, reflective resonance is carried out and they

are outputted to the optical fiber 20 as a laser beam. Moreover, the electrical potential difference is impressed to the external distribution reflector 15 from direct current voltage supply 16, and the effective refractive index of a crystal is changed to it by controlling this applied voltage to adjustable. For this reason, the Bragg wavelength of a light wave reflected by the grating 21 will change according to the above-mentioned applied voltage, and the laser beam of the request oscillation wavelength of the single longitudinal mode by which adjustable control was carried out will be oscillated by the optical fiber 20.

[0013] In addition, in this example, AR (Anti Reflection) coating is carried out, and the reflection factor of the high reflective end face 19 on the back is made or more into 0.9 so that an optical output can be concentrated on the nonreflective end face 18, so that the reflection factor of the nonreflective end face 18 of laser light emitting device 11 front face may become ten to four or less. In the wavelength adjustable external resonator mold laser of the above-mentioned configuration, incidence of the light wave outputted from the nonreflective end face 18 of laser light emitting device 11 front face is carried out to the external distribution reflector 15 with which the optical lens 13 was passed and the grating was formed. Here, the transmission of lithium NAIODEITO of the external distribution reflector 15 has the polarization dependency of incident light, and only the light of the TE mode may penetrate above-mentioned lithium NAIODEITO. Moreover, there is a polarization dependency also in the gain in the barrier layer 17 of the laser light emitting device 11 with the above-mentioned multiplex quantum well structure.

[0014] Therefore, from the laser light emitting device 11 in which only the TE mode has gain, by direct current voltage supply 16, the light wave of the TE mode is outputted, and an electrical potential difference is impressed to the external distribution reflector 15 so that the light wave of this TE mode may penetrate, and the crystal orientation of above-mentioned lithium NAIODEITO is adjusted, and it fixes. The light wave by which incidence was carried out to the crystal reflects only the wavelength component of the arbitration decided by the Bragg wavelength in a grating 21, passes an optical lens 13 conversely, and returns to the laser light emitting device 11. Consequently, the light wave of the single longitudinal mode nearest to the Bragg wavelength among the longitudinal modes decided by resonator structure oscillates, a crystal is passed, and it is outputted to an optical fiber 20 as a laser beam. That is, it will depend for the oscillation wavelength of a laser beam on the Bragg wavelength in the grating 21 formed in the crystal.

[0015] Here, when the period (pitch) of nav and a grating is set to lambda for the average refractive index of the above-mentioned crystal, Bragg wavelength lambdaB is $\lambda_B = 2n\lambda$. -- (1)

It becomes. Moreover, there is the following relation to the power reflection factor RB in the Bragg wavelength of the grating formed in the above-mentioned crystal.

[0016] $RB = \tanh 2(\pi d \tan L / \lambda B)$

In addition, d expresses the refractive-index change width of face of a grating, and L expresses the die length of a grating here. Therefore, a reflection factor RB can be chosen by adjusting these refractive-indexes change width-of-face d and die-length L of a grating. Next, the relation between this power reflection factor RB and the joint effectiveness $Cout2$ is explained using the drawing of drawing 4 from drawing 2. Drawing 2 is the related Fig. in the experiment using the wavelength adjustable external resonator mold laser which consists of a distorted multiplex quantum well laser showing change of the oscillation threshold current of laser. A threshold current changes with the power reflection factor RB and joint effectiveness $Cout2$ in drawing 2.

[0017] The above-mentioned threshold current becomes so small that the joint effectiveness $Cout2$ is large and a reflection factor RB is large. Generally a threshold current has that good of the lower one. On the other hand, current-output characteristics (henceforth a "I-L property") are an inrush current to laser, and the relation of optical output power, and the inclination is expressed with W/A. In the laser used for the experiment, the current-output characteristics when setting constant the reflection factor RB in the Bragg wavelength of a grating at 0.22, and making joint effectiveness $Cout2$ into a parameter are drawing 3. In drawing 3, although the inclination of an I-L property has the large one where the joint effectiveness $Cout2$ is smaller, at drawing 2, it turns out that a threshold current becomes [the one where the joint effectiveness $Cout2$ is smaller] large.

[0018] Moreover, the I-L property when drawing 4 setting joint effectiveness $Cout2$ to 0.6, and making a reflection factor RB into a parameter is shown. Although the inclination of an I-L property is so large that a reflection factor RB is small in drawing 3, it turns out in drawing 2 that a threshold current becomes [the one where a reflection factor RB is smaller] large. This shows that making a threshold current small and enlarging the inclination of these I-L property have commutation relation mutually. That is, since the inclination of an I-L property is so large that a threshold current is large, the upper limit of a request-less **** current is decided, and the joint effectiveness $Cout2$ and a reflection factor RB which fill it should just be specified.

[0019] Here, the joint effectiveness $Cout2$ is decided by optical system of an optical module. The joint effectiveness chosen by this is 0.6 to about 0.8. Moreover, when joint effectiveness is 0.8, a reflection factor is 0.1 or more and joint effectiveness is 0.6 first in order to set a threshold current to 20mA or less since it is usually within the limits of 5-20mA, a reflection factor is [0.2 or more] required for the threshold current of the laser for a communication link (refer to drawing 2).

[0020] On the other hand, if a reflection factor is large, the inclination of an I-L property becomes small and laser cannot be oscillated efficiently. Therefore, let the reflection factor 0.6 from which a threshold current is set to 5mA be an upper limit in

joint effectiveness 0.6 (refer to drawing 4). In the case of the joint effectiveness 0.6–0.8 chosen from the above thing using the usual optical system, if the reflection factor in the Bragg wavelength of a grating is made into the range of 0.1–0.6, it will become possible to stabilize laser of it efficiently. In addition, at this example, in order to stabilize laser still more efficiently, the reflection factor RB in the Bragg wavelength of the grating in the case of joint effectiveness 0.6–0.8 shall be chosen within the limits of 0.2–0.4.

[0021] Moreover, change of the I–L property mentioned above can be expressed with a formula as follows. namely, threshold current I_{th} of laser $I_{th}=eVaBeff[[-\alpha_1 L_1 -/(** +1/** L_1) \ln(1-/ta2Cout2rhrB)] - /g'+Ng]$ — (2)

It becomes. here — e — electron charge and $Cout2$ — joint effectiveness and rh — the rate of electroreflectance of the above-mentioned quantity reflective end face, and ta — for the propagation loss in the above-mentioned barrier layer, and L_1 , the die length of the above-mentioned barrier layer and $Beff$ are [the electric-field permeability of the above-mentioned nonreflective end face, and $**$ / the above-mentioned barrier layer longitudinal direction optical confinement factor and α_1 / an inverted population carrier consistency and g' of an effective recombination coefficient and Ng] differential gain. Moreover, Va is the barrier layer volume, is expressed with the product of the die length L_1 of the barrier layer width of face ω , barrier layer thickness t , and a barrier layer, and is set to $Va=L_1t\omega$. rB has the relation of $rB2=RB$ at the rate of electroreflectance in the Bragg wavelength.

[0022] Moreover, when spontaneous emmision light is disregarded, the total optical output P_0 of the laser to an inrush current I is $P_0=etadEg(I-I_{th})$ $Eg=h\nu$. — (3)

It becomes. Here, h is [the vibration frequency of a light wave and $etad$ of a Planck's constant and ν] external differential quantum efficiency. If this $etad$ is expressed using internal-quantum-efficiency $etain$ of laser $etad=etain\alpha/\alpha_1+\alpha$ $= etain [(1 / L_1) \ln(1-/ta2Cout2rhrB)/[\alpha_1+ (1 / L_1) \ln(1-/ta2Cout2rhrB)]]$ — (4)

It becomes. Here, α is a mirror loss. Furthermore, the optical output taken out from laser outside is divided and outputted to a rear face and a front face. If the optical output of P_{front} and a rear face is expressed for a front optical output as P_{back} at this time $P_{front}/P_{back}=[(1-RB)/(1-Rh)] \sqrt{Rh/RB}$ — (5)

It becomes. Here, RB is the power reflection factor of a front mirror, and Rh is the power reflection factor of a rear-face mirror.

[0023] In addition, the property parameter value of the laser light emitting device 11 with the distorted multiplex quantum well structure where it used for this experiment is shown in Table 1.

[0024]

[Table 1]

パラメータ	パラメータ値
活性層幅 ω	$1.5 \times 10^{-4} \text{ cm}$
活性層厚さ t	$0.1 \times 10^{-4} \text{ cm}$
活性層の長さ L_1	$3 \times 10^{-2} \text{ cm}$
実効再結合係数 B_{eff}	$1.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$
活性層内の伝搬損失 α_1	8 cm^{-1}
閉じ込め係数 Γ	0.05
微分利得 g'	$3.5 \times 10^{-18} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3$
反転分布キャリア密度 N_g	$1.0 \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$
高反射面の電界反射率 r_h	$\sqrt{0.9}$
無反射面の電界透過率 t_s	$\sqrt{(1 - 10^{-4})}$
内部量子効率 η_1	0.15

In this invention, even if it assigned the above-mentioned value of Table 1 to (2) – (5) type about an I-L property, the I-L property shown in drawing 3 and drawing 4 was able to be acquired.

[0025] Next, applied voltage and the relation of refractive-index change are explained. The Pockels effect is the phenomenon in which a refractive index changes in proportion to electric field, and this effectiveness is seen as a crystal without centrosymmetry. For example, in lithium NAIODEITO of 1 axial crystal, when adding electric field E in the direction of the z -axis (it is also called a c -axis) of an optical axis, the electric field of a x axis and the direction of the y -axis are 0. Then, refractive-index change Δn of the direction of the z -axis is expressed as $\Delta n = -n_e \gamma_{33} E / 2$. Here, n_e is the refractive index of the direction of the z -axis of lithium NAIODEITO when not impressing electric field, and the about [$n_e=2.2$] value is known. γ_{33} is a primary optical multiplier and $\gamma_{33}=32 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ extent is known. According to this effectiveness, the refractive index of the direction of the z -axis will change with electric fields to

$n_e + \Delta n_e$. Since the relation of $V = Ed$ (d is an inter-electrode distance) to electric field E in applied voltage V is, a refractive index will change in proportion to applied voltage.

[0026] As mentioned above, Bragg wavelength λ_B has the relation shown in (1) type, and since Δn_e in the above-mentioned (1) formula is $n_e + \Delta n_e$, Bragg wavelength λ_B will change with electrical-potential-difference impression. Moreover, a crystal is one of the components of a resonator, and if the refractive index of a crystal changes, the phase conditions of laser oscillation will also change and it will also change the longitudinal mode which may be oscillated. For this reason, the electrical-potential-difference impression to a crystal brings about change of the Bragg wavelength, and change of longitudinal-mode conditions. Since it oscillates by the longitudinal mode nearest to the Bragg wavelength, the phase conditions when impressing the electrical potential difference of arbitration and the laser beam of the single longitudinal mode decided by the Bragg wavelength oscillate the above-mentioned laser.

[0027] Therefore, in this example, since the output voltage of direct current voltage supply is adjusted, the applied voltage to a crystal is changed and the Bragg wavelength is adjusted, the oscillation wavelength of laser can be changed, and since a setup of oscillation wavelength becomes simple and a mechanical drive system is not used, an equipment configuration can be made small. Furthermore, the die length of the resonator which consists of this examples in a grating and the reflector of a laser light emitting device since the above-mentioned drive system becomes unnecessary becomes short, a photon life becomes short, and it becomes possible to generate in a frequency band with a high relaxation oscillation frequency as the result, to impress a direct modulation signal to the above-mentioned laser light emitting device, and to modulate a lightwave signal.

[0028] Drawing 5 is the block diagram showing the configuration of the 2nd example of the wavelength adjustable external resonator mold laser concerning this invention. A different point from the 1st example of drawing 1 in drawing 5 is arranging the crystal with which the grating's was formed in the rear-face side of the laser light emitting device 11, constituting the external distribution reflector 15, impressing an electrical potential difference to the above-mentioned external distribution reflector 15 from direct current voltage supply 16, and carrying out adjustable control of the Bragg wavelength, and is oscillating the laser beam of the request oscillation wavelength of the single longitudinal mode.

[0029] Moreover, change of the $I-L$ property mentioned above can be expressed with a formula as follows. namely, threshold current I_{th} of laser $I_{th} = eV_a B_{eff} [-\alpha_1 L_1 / ** + (1 / ** L_1) \ln (1 - / I_a 2 C_{out} 2 r_l r_B)] - / g' + N_g] - (6)$

It becomes. Here, r_l is the rate of electroreflectance of the above-mentioned nonreflective end face, and other parameters are the same as the parameter of (2) -

(5) type. Moreover, when spontaneous emission light is disregarded, the total optical output P_0 of the laser to an inrush current I is $P_0 = \eta_{ad} E_g (I - I_{th})$ $E_g = hn\mu$ like (3) types. -- (7)

It comes out. Here, when η_{ad} is expressed using internal-quantum-efficiency η_{in} of laser, it is $\eta_{ad} = \eta_{in} \alpha_{pham} / (\alpha_{ph1} + \alpha_{pham})$.

$$= \eta_{in} [(1 / L_1) \ln(1 - \tau_{a2} C_{out2} R_l R_B) / [\alpha_{ph1} + (1 / L_1) \ln(1 - \tau_{a2} C_{out2} R_l R_B)]] \quad -- (8)$$

It becomes. Furthermore, the optical output taken out from laser outside is divided and outputted to a rear face and a front face. If the optical output of P_{front} and a rear face is expressed for a front optical output as P_{back} at this time $P_{front}/P_{back} = [(1 - R_l)/(1 - R_B)] \sqrt{R_B/R_l}$ -- (9)

It becomes. Here, a power reflection factor [in / in R_B / the Bragg wavelength of a grating] and R_l are the power reflection factors of a front mirror. Also by this example, the good $I-L$ property was able to be acquired by assigning the above-mentioned value of Table 1 to (6) – (9) type.

[0030] In this example, with this configuration, the rear face of the laser light emitting device 11 is made into the with a reflection factor of ten to four or less nonreflective end face 18, a front face is made into the high reflective end face 19 between reflection factors 0.2–0.4, the reflection factor in the Bragg wavelength of the grating which is the external distribution reflector 15 is made or more into 0.9, and it makes it possible to oscillate the laser beam of request oscillation wavelength to the external distribution reflector 15 and the opposite side. In addition, in this example, the principle from which oscillation wavelength changes only by the electrical-potential-difference impression to a crystal is the same as that of the 1st example.

[0031] Therefore, since this example can also adjust the Bragg wavelength, like the 1st example, the oscillation wavelength of laser can be changed, and a setup of oscillation wavelength becomes simple, and it can make an equipment configuration small. By the way, the Bragg wavelength of the grating formed in a crystal like lithium NAOBEITO mentioned above has temperature dependence as shown in the experimental result of drawing 6. In the above-mentioned experiment, if the temperature of a crystal is changed in 10–30 degrees C, the Bragg wavelength will change in proportion to the temperature change, and will be shifted to long wavelength almost linearly in connection with a temperature rise. The inclination of change from this property is 0.006nm/degree C. Therefore, in order to realize the wavelength adjustable only with the applied voltage to a crystal, it is necessary to reduce the effects by the temperature change.

[0032] So, the component shown below is added to the 1st or 2nd example, and it consists of the 3rd example of drawing 7. That is, the component 23 which constitutes the temperature control means of the external distribution reflector 15 which consists of the above-mentioned crystal which starts this invention through the

conductive metal 22 caudad, for example, a Peltier device, shall be arranged, and the temperature of a crystal shall be adjusted. Furthermore, into the above-mentioned crystal, the automatic thermal control circuit 25 which constitutes the temperature control means which attaches the temperature sensor 24 which constitutes the temperature detection means concerning this invention, for example, a thermistor, detects the temperature of a crystal, and starts this invention according to the temperature by which detection was carried out [above-mentioned] shall control the temperature of Peltier device 23. That is, in the thermistor 24, detection temperature is changed into a voltage signal and it is outputting to the automatic thermal control circuit 25, and reference temperature is set up as reference voltage, and feedback control of the current passed to Peltier device 23 is performed [the difference of the above-mentioned voltage signal and reference voltage to input is taken, and] in the automatic thermal control circuit 25 so that the temperature of the external distribution reflector 15 may become fixed according to this difference.

[0033] Therefore, in this example, since it can become possible to keep the temperature of a crystal constant, the effects by the temperature change of the Bragg wavelength of a grating can be reduced and the above-mentioned Bragg wavelength can be adjusted, the oscillation wavelength of laser can be changed still more exactly, and a setup of oscillation wavelength becomes simple, and an equipment configuration can be made small. In addition, in order to carry out adjustable control of the oscillation wavelength of a laser beam in these examples, an optical coupler (not shown) is attached in the laser beam output side of an optical fiber, if separate the laser beam outputted, the monitor of the wavelength is carried out, it feeds back to direct current voltage supply and applied voltage is adjusted, the Bragg wavelength of a grating can be adjusted and the oscillation wavelength of a laser beam can be sorted out with a sufficient precision.

[0034] Moreover, it is also possible to change the Bragg wavelength by changing the temperature of a crystal so that drawing 6 may show. Then, the block diagram of the 4th example of the wavelength adjustable external resonator mold laser applied to this invention at drawing 8 is shown. In the 4th example, the electrical-potential-difference impression to the crystal by the direct current voltage supply 16 shown in the 3rd example is deleted, only feedback control of the current passed to Peltier device 23 is performed, the temperature of the external distribution reflector 15 is adjusted to adjustable, and the laser beam of the request oscillation wavelength of the single longitudinal mode is oscillated by carrying out adjustable control of the Bragg wavelength.

[0035] Therefore, in this example, since the Bragg wavelength is adjusted and the oscillation frequency of laser can be changed by carrying out adjustable setting of the temperature of an external distribution reflector, a setup of oscillation wavelength is simple and can make an equipment configuration small.

[0036]

[Effect of the Invention] In the wavelength adjustable external resonator mold laser which optical coupling is carried out to an optical fiber in this invention so that transmission of a light wave may be possible, wavelength oscillates the laser beam of a single mode from among adjustable light waves, and is transmitted to said optical fiber as explained above. The external distribution reflector which consists of a crystal which has the electro-optical effect which is the quality of the material in which the grating which reflects the light wave of different Bragg wavelength according to the electrical potential difference impressed was formed. An armature-voltage control means to control to adjustable the electrical potential difference impressed to said external distribution reflector. Since it had the laser light emitting device which it has the reflector in which the produced light wave is reflected, and this light wave is resonated between this reflector and said grating, and oscillates the laser beam of predetermined wavelength. While a setup of oscillation wavelength is simple and can make an equipment configuration small, cavity length is shortened, a relaxation oscillation frequency can be made high, and direct modulation is possible.

[0037] Moreover, since said wavelength adjustable external resonator mold laser is equipped with a temperature detection means to detect the temperature of said external distribution reflector, and a temperature control means to control the temperature of said external distribution reflector to predetermined temperature according to said detected temperature and makes temperature of an external distribution reflector regularity, it can make a setup of oscillation wavelength simple further. Moreover, the wavelength adjustable external resonator mold laser concerning this invention The external distribution reflector which consists of a crystal with which the grating which reflects the light wave of different Bragg wavelength according to temperature was formed. A temperature detection means to detect the temperature of said external distribution reflector, and said detected temperature are embraced. Since the oscillation wavelength of the laser beam which it has a temperature control means to control the temperature of said external distribution reflector to adjustable, and the Bragg wavelength is changed by controlling the temperature of an external distribution reflector to adjustable, and is oscillated by the single longitudinal mode is controlled to adjustable A setup of oscillation wavelength is simple and can make an equipment configuration small.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram showing the configuration of the 1st example of the

wavelength adjustable external resonator mold laser concerning this invention.

[Drawing 2] It is the related Fig. in the experiment using the wavelength adjustable external resonator mold laser which consists of a distorted multiplex quantum well laser showing change of the oscillation threshold current of laser.

[Drawing 3] It is the property Fig. showing the I-L property when setting constant the reflection factor RB in the above-mentioned experiment at 0.22, and making joint effectiveness Cout2 into a parameter.

[Drawing 4] It is the property Fig. showing the I-L property when setting joint effectiveness Cout2 in the above-mentioned experiment to 0.6, and making a reflection factor RB into a parameter.

[Drawing 5] It is the block diagram showing the configuration of the 2nd example of the wavelength adjustable external resonator mold laser concerning this invention.

[Drawing 6] It is the property Fig. showing the temperature characteristic of the Bragg wavelength.

[Drawing 7] It is the block diagram showing the configuration of the 3rd example of the wavelength adjustable external resonator mold laser concerning this invention.

[Drawing 8] It is the block diagram showing the configuration of the 4th example of the wavelength adjustable external resonator mold laser concerning this invention.

[Drawing 9] It is the block diagram showing the configuration of the conventional wavelength adjustable external resonator mold laser.

[Description of Notations]

11 laser light emitting device

13 14 Optical lens

15 External Distribution Reflector

16 Direct Current Voltage Supply

17 Barrier Layer

18 Nonreflective End Face

19 High Reflective End Face

20 Optical Fiber

21 Grating

23 Peltier Device

24 Thermistor

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-233894

(43)公開日 平成11年(1999)8月27日

(51)Int.Cl.*

H 0 1 S 3/18
 3/1055

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18
 3/1055

審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全9頁)

(21)出願番号 特願平10-36177

(22)出願日 平成10年(1998)2月18日

(71)出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72)発明者 那須 秀行

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

(72)発明者 大村 英之

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

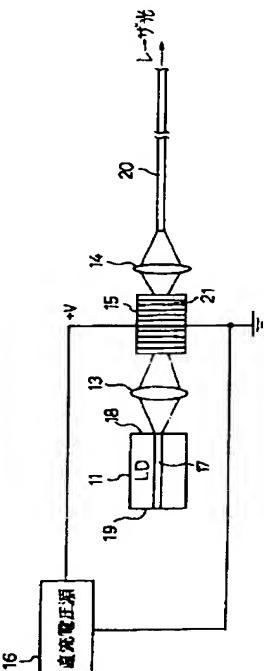
(74)代理人 弁理士 長門 侃二

(54)【発明の名称】 波長可変外部共振器型レーザ

(57)【要約】

【課題】 発振波長の設定が簡便で、かつ装置構成を小さくする。

【解決手段】 所定波長のレーザ光を発振するレーザダイオードからなるレーザ発光素子11と、ポックルス効果を有する結晶からなるとともにグレーティング21が形成された外部部分布反射器15とを光結合する。外部部分布反射器には、直流電圧源16から電圧を印加し、その印加電圧を可変に制御することで結晶の実効屈折率を変化させ、反射する光波のプラグ波長を変化させることによって、単一縦モードで発振するレーザ光の発振波長を可変に制御し、共振器長を短くして緩和振動周波数を高くし、直接変調を可能にする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光波の伝送が可能なように光ファイバと光結合され、波長が可変の光波のうちから単一モードのレーザ光を発振して前記光ファイバに伝送する波長可変外部共振器型レーザにおいて、印加される電圧に応じて、異なるプラグ波長の光波を反射するグレーティングが形成された材質からなる外部分布反射器と、前記外部分布反射器に印加する電圧を可変に制御する電圧制御手段と、生じた光波を反射する反射面を有し、該反射面と前記グレーティングとの間で該光波を共振させて所定波長のレーザ光を発振するレーザ発光素子とを備えたことを特徴とする波長可変外部共振器型レーザ。

【請求項2】 前記波長可変外部共振器型レーザは、前記外部分布反射器の温度を検出する温度検出手段と、前記検出された温度に応じて、前記外部分布反射器の温度を所定温度に制御する温度制御手段とを備えたことを特徴とする請求項1に記載の波長可変外部共振器型レーザ。

【請求項3】 光波の伝送が可能なように光ファイバと光結合され、波長が可変の光波のうちから単一モードのレーザ光を発振して前記光ファイバに伝送する波長可変外部共振器型レーザにおいて、温度に応じて、異なるプラグ波長の光波を反射するグレーティングが形成された材質からなる外部分布反射器と、前記外部分布反射器の温度を検出する温度検出手段と、前記検出された温度に応じて、前記外部分布反射器の温度を可変に制御する温度制御手段と、生じた光波を反射する反射面を有し、該反射面と前記グレーティングとの間で該光波を共振させて所定波長のレーザ光を発振するレーザ発光素子とを備えたことを特徴とする波長可変外部共振器型レーザ。

【請求項4】 前記外部分布反射器の材質は、電気光学効果を有する結晶からなることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の波長可変外部共振器型レーザ。

【請求項5】 前記レーザ発光素子のしきい電流 I_{th} を、

$$I_{th} = e V_s B_{eff} \{ [\alpha_1 L_1 / \Gamma + (1 / \Gamma L_1) \ln (1 / t_a^2 C_{out}^2 r_b r_b)] / g' + N_t \}$$

とし、注入電流 I に対するレーザの全光出力 P_o は、

$$P_o = \eta_d E_g (I - I_{th})$$

$E_g = h v$

とし、外部微分量子効率 η_d はレーザの内部量子効率 η_{in} を用いて、

$$\eta_d = \eta_{in} \alpha_s / (\alpha_s + \alpha_r)$$

$$= \eta_{in} \{ (1 / L_1) \ln (1 / t_a^2 C_{out}^2 r_b r_b) / [\alpha_s + (1 / L_1) \ln (1 / t_a^2 C_{out}^2 r_b r_b)] \}$$

と表し、この時、前面の光出力を P_{front} 、後面の光出

力を P_{back} として表すと、

$$P_{front} / P_{back} = [(1 - R_s) / (1 - R_b)] \sqrt{(R_b / R_s)}$$

となることを特徴とする請求項1又は2に記載の波長可変外部共振器型レーザ。

【請求項6】 前記レーザ発光素子のしきい電流 I_{th} を、

$$I_{th} = e V_s B_{eff} \{ [\alpha_1 L_1 / \Gamma + (1 / \Gamma L_1) \ln (1 / t_a^2 C_{out}^2 r_b r_b)] / g' + N_t \}$$

10 とし、注入電流 I に対するレーザの全光出力 P_o は、

$$P_o = \eta_d E_g (I - I_{th})$$

$$E_g = h v$$

とし、外部微分量子効率 η_d はレーザの内部量子効率 η_{in} を用いて、

$$\eta_d = \eta_{in} \alpha_s / (\alpha_s + \alpha_r) \\ = \eta_{in} \{ (1 / L_1) \ln (1 / t_a^2 C_{out}^2 r_b r_b) / [\alpha_s + (1 / L_1) \ln (1 / t_a^2 C_{out}^2 r_b r_b)] \}$$

と表し、この時、前面の光出力を P_{front} 、後面の光出力 P_{back} として表すと、

$$20 P_{front} / P_{back} = [(1 - R_s) / (1 - R_b)] \sqrt{(R_b / R_s)}$$

となることを特徴とする請求項1又は2に記載の波長可変外部共振器型レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、波長が可変のレーザ光のうちから単一モードの所望波長のレーザ光を発振する波長可変外部共振器型レーザに関する。

【0002】

【関連する背景技術】 従来、この種のレーザには、外部共振器型の単一縦モードのレーザがあり、例えば図9に示すように、外部分布反射器10にグレーティング（回折格子）を用い、このグレーティング10をレーザダイオードからなるレーザ発光素子11外部に配置し、グレーティング10と低反射面12との間で生じた光波を共振させるとともに、グレーティング10の角度θを変化させることによって反射波長を変化させ、導光路である光ファイバ20に発振するレーザ光の発振波長を調整していた。なお、13、14は、光波を集光するための光学レンズである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、上記レーザでは、グレーティングの角度を機械的に動かす必要がある。すなわち、グレーティングは、例えば手動によってマイクロメータヘッドやネジを用いて角度調整される場合がある。このような場合には、微調整を行うのが難しく、任意の波長に設定することは困難であり、かつ簡便ではないという問題点があった。

【0004】 また、波長設定の簡便性を向上させるために、モータ等の駆動系を用いてグレーティングを駆動し

て、角度調整するものもあったが、安定性が悪く、かつモータ等の駆動系であるため、装置が大きくなり製作コストが高くなるという問題点があった。さらに、光学系と駆動系の構成が大きいため、グレーティングとレーザ発光素子の反射面とで構成される共振器の長さが長くなつて、光子寿命が長くなる。その結果として、緩和振動周波数が低周波に発生し、上記レーザ発光素子に直接変調信号を印加して光信号を変調することができないという問題点もあった。

【0005】本発明は、上記問題点に鑑みなされたもので、発振波長の設定が簡便で、かつ装置構成を小さくできる波長可変外部共振器型レーザを提供することを目的とする。また、本発明の他の目的は、共振器長を短くして緩和振動周波数を高くでき、直接変調ができる波長可変外部共振器型レーザを提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明では、光波の伝送が可能なように光ファイバと光結合され、波長が可変のレーザ光のうちから單一モードのレーザ光を発振して前記光ファイバに伝送する波長可変外部共振器型レーザにおいて、印加される電圧に応じて、異なるプラグ波長の光波を反射するグレーティングが形成された材質、例えば電気光学1次効果（いわゆるポッケルス効果）を有する結晶からなる外部分布反射器と、前記外部分布反射器に印加する電圧を可変に制御する直流電圧源からなる電圧制御手段と、前記生じた光波を反射する反射面を有し、該反射面と前記グレーティングとの間で該光波を共振させて所定波長のレーザ光を発振するレーザダイオードからなるレーザ発光素子とを備えた波長可変外部共振器型レーザが提供される。

【0007】すなわち、前記ポッケルス効果を有するリチウムナイオベイト等の結晶に紫外光照射によりグレーティングを形成させるとともに、この結晶とレーザ発光素子を光結合する。結晶には、直流電圧源から電圧を印加し、その印加電圧を可変に制御することで結晶の実効屈折率を変化させ、これにより反射する光波のプラグ波長を変化させて、單一縦モードで発振するレーザ光の発振波長を可変に制御する。

【0008】また、前記波長可変外部共振器型レーザは、前記外部分布反射器の温度を検出する例えばサーミスタ等の温度センサからなる温度検出手段と、前記検出された温度に応じて、前記外部分布反射器の温度を所定温度に制御するペルチェ素子及び温度制御回路からなる温度制御手段とを備え、外部分布反射器の温度を一定にすることが好ましい。

【0009】また、本発明に係る波長可変外部共振器型レーザは、温度に応じて、異なるプラグ波長の光波を反射するグレーティングが形成されたリチウムナイオベイト等の結晶からなる外部分布反射器と、前記外部分布反射器の温度を検出する温度センサと、前記検出された

温度に応じて、前記外部分布反射器の温度を可変に制御するペルチェ素子及び温度制御回路とを備え、外部分布反射器の温度を可変に制御することでプラグ波長を変化させて、單一縦モードで発振するレーザ光の発振波長を可変に制御することが好ましい。

【0010】

【発明の実施の形態】本発明に係る波長可変外部共振器型レーザを図1乃至図8の図面に基づいて説明する。図1は、本発明に係る波長可変外部共振器型レーザの第1

10 実施例の構成を示す構成図である。なお、以下の図において、図9と同様の構成部分に関しては、説明の都合上、同一符号を付記する。

【0011】図1において、波長可変外部共振器型レーザは、光源であるレーザダイオードからなるレーザ発光素子11と、光学レンズ13、14と、レーザ発光素子11と光ファイバ20との間に配置される結晶からなる外部分布反射器15と、本発明に係る電圧制御手段を構成し、外部分布反射器15に印加する電圧を可変に制御する直流電圧源16とから構成される。

【0012】レーザ発光素子11は、例えば多重量子井戸構造を持つ活性層17と、活性層17を挟んで形成される無反射端面18及び高反射端面19とを有し、外部分布反射器15には、ポッケルス効果を有する例えりチウムナイオベイト(LiNbO_3)の結晶が用いられ、この結晶に紫外光を照射することにより、グレーティング21が形成されている。この結晶(外部分布反射器15)とレーザ発光素子11及び光ファイバ20は、光学レンズ13、14を介して光結合されており、注入される電流によって活性層17に光波が生じ、その光波が高反射端面19とグレーティング21間で形成される共振器によって反射共振され、光ファイバ20にレーザ光として出力されている。また、外部分布反射器15には、直流電圧源16から電圧が印加されており、この印加電圧を可変に制御することで結晶の実効屈折率を変化させている。このため、グレーティング21で反射する光波のプラグ波長は、上記印加電圧に応じて変化し、光ファイバ20には、可変制御された單一縦モードの所望発振波長のレーザ光が発振されることとなる。

【0013】なお、本実施例では、レーザ発光素子11前面の無反射端面18の反射率は、 10^{-4} 以下となるよう、A R (Anti Reflection) コーティングし、また後面の高反射端面19の反射率は、無反射端面18に光出力が集中できるように、0.9以上とする。上記構成の波長可変外部共振器型レーザにおいて、レーザ発光素子11前面の無反射端面18から出力された光波は、光学レンズ13を通過してグレーティングが形成された外部分布反射器15に入射される。ここで、外部分布反射器15のリチウムナイオベイトの透過率は、入射光の偏波依存性があり、TEモードの光のみが上記リチウムナイオベイトを透過しうる。また、上記多重量子井戸構造

40 前面の無反射端面18の反射率は、 10^{-4} 以下となるよう、A R (Anti Reflection) コーティングし、また後面の高反射端面19の反射率は、無反射端面18に光出力が集中できるように、0.9以上とする。上記構成の波長可変外部共振器型レーザにおいて、レーザ発光素子11前面の無反射端面18から出力された光波は、光学レンズ13を通過してグレーティングが形成された外部分布反射器15に入射される。ここで、外部分布反射器15のリチウムナイオベイトの透過率は、入射光の偏波依存性があり、TEモードの光のみが上記リチウムナイオベイトを透過しうる。また、上記多重量子井戸構造

を持つレーザ発光素子11の活性層17における利得にも、偏波依存性がある。

【0014】従って、TEモードのみ利得を有するレーザ発光素子11からは、TEモードの光波が outputされ、直流電圧源16では、このTEモードの光波が透過するように電圧を外部分布反射器15に印加し、上記リチウムナノペイントの結晶方向を調整して固定する。結晶に入射された光波は、グレーティング21におけるプラグ波長で決まる任意の波長成分のみ反射し、光学レンズ13を逆に通過してレーザ発光素子11に戻る。この結果、共振器構造で決まる縦モードのうち、プラグ波長に最も近い単一縦モードの光波が発振し、結晶を通してレーザ光として光ファイバ20に出力される。すなわち、レーザ光の発振波長は、結晶に形成されたグレーティング21におけるプラグ波長に依存することとなる。

【0015】ここで、上記結晶の平均屈折率を n_{av} 、グレーティングの周期(ピッチ)を Λ とすると、プラグ波長 λ_p は、

$$\lambda_p = 2 n_{av} \Lambda \quad \dots (1)$$

となる。また、上記結晶に形成されたグレーティングのプラグ波長におけるパワー反射率 R_p には、次の関係がある。

$$【0016】 R_p = \tanh^2 (\pi \Delta n L / \lambda_p)$$

なお、ここで Δn は、グレーティングの屈折率変化幅、 L は、グレーティングの長さを表す。従って、反射率 R_p は、これら屈折率変化幅 Δn 、グレーティングの長さ L を調節することで選択することができる。次に、このパワー反射率 R_p と結合効率 C_{out}^2 の関係について、図2から図4の図面を用いて説明する。図2は、歪多重子井戸レーザからなる波長可変外部共振器型レーザを用いた実験における、レーザの発振しきい電流の変化を示す関係図である。図2において、しきい電流は、パワー反射率 R_p と結合効率 C_{out}^2 によって変化する。

【0017】上記しきい電流は、結合効率 C_{out}^2 が大きく、かつ反射率 R_p が大きいほど小さくなる。一般的にしきい電流は、低い方が良い。一方、電流ー出力特性(以下、「IーL特性」という)は、レーザへの注入電流と光出力パワーの関係であり、その傾きは、W/Aで表される。実験に用いたレーザにおいて、グレーティング*40

$$I_{th} = e V_s B_{eff} \{ [\alpha_1 L_1 / \Gamma + (1 / t_s^2 C_{out}^2 r_b r_p)] / g' + N_g \} \dots (2)$$

となる。ここで、 e は電子電荷、 C_{out}^2 は結合効率、 r_p は上記高反射端面の電界反射率、 t_s は上記無反射端面の電界透過率、 Γ は上記活性層横方向光閉じ込め係数、 α_1 は上記活性層内の伝搬損失、 L_1 は上記活性層の長さ、 B_{eff} は実効再結合係数、 N_g は反転分布キャリア密度、 g' は微分利得である。また、 V_s は活性層体積であり、活性層幅 ω と活性層厚さ t と活性層の長さ L_1 の積で表され、 $V_s = L_1 t \omega$ となる。 r_b はプラグ波長

* ゲのプラグ波長における反射率 R_p を、0.22で一定とし、結合効率 C_{out}^2 をパラメータとした時の電流ー出力特性が図3である。図3では、IーL特性の傾きは、結合効率 C_{out}^2 が小さい方が大きいが、図2では、結合効率 C_{out}^2 が小さい方がしきい電流が大きくなることが判る。

【0018】また、図4は、結合効率 C_{out}^2 を0.6とし、反射率 R_p をパラメータとした時のIーL特性を示す。図3では、反射率 R_p が小さいほど、IーL特性の傾きが大きいが、図2では、反射率 R_p が小さい方がしきい電流が大きくなることが判る。このことから、しきい電流を小さくすることと、これらIーL特性の傾きを大きくすることは、相互に交換関係となっていることが判る。つまり、しきい電流が大きいほど、IーL特性の傾きは、大きいのであるから、所望なしきい電流の上限を決め、それを満たすような結合効率 C_{out}^2 及び反射率 R_p が規定されれば良い。

【0019】ここで、結合効率 C_{out}^2 は、光モジュールの光学系によって決まる。これによって選られる結合効率は、0.6~0.8程度である。また、通信用レーザのしきい電流は、通常5~20mAの範囲内であるから、まず、しきい電流を20mA以下にするには、結合効率が0.8の場合には、反射率が0.1以上、結合効率が0.6の場合には、反射率が0.2以上必要である(図2参照)。

【0020】一方、反射率が大きいと、IーL特性の傾きが小さくなり、効率良くレーザを発振できない。そのため、結合効率0.6において、しきい電流が5mAとなる反射率0.6を上限とする(図4参照)。以上のことでより、通常の光学系を用いて選られる結合効率0.6~0.8の場合において、グレーティングのプラグ波長における反射率は、0.1~0.6の範囲にすると、レーザを効率良く安定させることが可能となる。なお、本実施例では、レーザをさらに効率良く安定させるために、結合効率0.6~0.8の場合のグレーティングのプラグ波長における反射率 R_p は、0.2~0.4の範囲内で選ぶものとする。

【0021】また、上述したIーL特性の変化は、以下のように式で表すことができる。すなわち、レーザのしきい電流 I_{th} は、

$$(1 / \Gamma L_1) I_{th} \dots (1)$$

$$における電界反射率で $r_p^2 = R_p$ の関係にある。$$

【0022】また、自然放出光を無視すると、注入電流 I に対するレーザの全光出力 P_o は、

$$P_o = \eta_d E_g (I - I_{th})$$

$$E_g = h v \dots (3)$$

となる。ここで、 h はプランク定数、 v は光波の振動数、 η_d は外部微分量子効率である。この η_d はレーザの内部量子効率 η_{in} を用いて表すと、

$$\begin{aligned} \eta_d &= \eta_{in} \alpha_s / (\alpha_s + \alpha_r) \\ &= \eta_{in} \left\{ (1/L_1) \ln \left(1/t_s^2 C_{out}^2 r_b r_s \right) / [\alpha_s + \right. \\ &\quad \left. (1/L_1) \ln \left(1/t_s^2 C_{out}^2 r_b r_s \right)] \right\} \quad \dots (4) \end{aligned}$$

となる。ここで、 α_s はミラー損失である。さらに、レーザから外部に取り出される光出力は、後面及び前面に * 分かれて出力される。この時、前面の光出力を P_{front} 、後面の光出力を P_{back} として表すと、

$$P_{front} / P_{back} = [(1 - R_s) / (1 - R_b)] \sqrt{(R_b / R_s)} \dots (5)$$

となる。ここで、 R_s は前面ミラーのパワー反射率、 R_b は後面ミラーのパワー反射率である。

【0023】なお、この実験に用いた歪多重量子井戸構

【0024】

【表1】

造を持つレーザ発光素子 11 の特性パラメータ値は、表※10

パラメータ	パラメータ値
活性層幅 w	$1.5 \times 10^{-4} \text{ cm}$
活性層厚さ t	$0.1 \times 10^{-4} \text{ cm}$
活性層の長さ L_1	$3 \times 10^{-3} \text{ cm}$
実効再結合係数 B_{eff}	$1.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$
活性層内の伝搬損失 α_s	8 cm^{-1}
閉じ込め係数 Γ	0.05
微分利得 g'	$3.5 \times 10^{-15} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3$
反転分布キャリア密度 N_s	$1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
高反射面の電界反射率 r_s	$\sqrt{0.9}$
無反射面の電界透過率 t_s	$\sqrt{(1 - 10^{-4})}$
内部量子効率 η_{in}	0.15

本発明では、I-L特性に関する(2)～(5)式に表1の上記値を代入しても、図3、図4に示すI-L特性を得ることができた。

【0025】次に、印加電圧と屈折率変化の関係について説明する。ポッケルス効果は、電界に比例して屈折率が変化する現象であり、中心対称性を持たない結晶では、この効果が見られる。例えば1軸性結晶のリチウムナイオベイトでは、光軸のz軸(c軸ともいう)方向に電界Eを加える場合、x軸、y軸方向の電界は0である。そこで、z軸方向の屈折率変化 Δn_z は、

$$\Delta n_z = -n_{in} \gamma_{zz} E / 2$$

と表される。ここで、 n_{in} は、電界を印加しない時のリチウムナイオベイトのz軸方向の屈折率であり、 $n_{in} = 2.2$ 程度の値が知られている。 γ_{zz} は、1次光学係数であり、 $\gamma_{zz} = 3.2 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ 程度が知られている

る。この効果により、z軸方向の屈折率が電界によって、 $n_{in} + \Delta n_z$ に変化することになる。印加電圧Vと電界Eには、 $V = E d$ (d は電極間の距離) の関係があるから、屈折率は、印加電圧に比例して変わることになる。

【0026】上述したごとく、プラグ波長 λ_p は、(1)式に示した関係にあり、上記(1)式における n_{in} が、 $n_{in} + \Delta n_z$ であるから、プラグ波長 λ_p が電圧印加によって変化することになる。また、結晶は、共振器の構成要素の1つであり、結晶の屈折率が変化すると、レーザ発振の位相条件も変わり、発振しうる縦モードも変わる。このため、結晶への電圧印加は、プラグ波長の変化、縦モード条件の変化をもたらす。上記レーザは、プラグ波長に最も近い縦モードで発振するから、任意の電圧を印加した時の位相条件、プラグ波長

で決まる単一縦モードのレーザ光が発振する。

【0027】従って、本実施例では、直流電圧源の出力電圧を調整して、結晶への印加電圧を変化させてプラグ波長を調整するので、レーザの発振波長を変化させることができ、発振波長の設定が簡便になり、かつ機械的な駆動系を用いないので、装置構成を小さくできる。さらに、本実施例では、上記駆動系が不要になるため、グレーティングとレーザ発光素子の反射面とで構成される共振器の長さが短くなつて、光子寿命が短くなり、その結果として、緩和振動周波数が高い周波数帯に発生し、上記レーザ発光素子に直接変調信号を印加して光信号を変調することが可能になる。

$$I_{th} = e V_a B_{eff} \left\{ \left[\alpha_1 L_1 / \Gamma + (1/\Gamma L_1) \ln \left(1 / t_{th}^2 C_{out}^2 r_1 r_2 \right) \right] / g' + N_g \right\} \quad \dots (6)$$

となる。ここで、 r_1 は上記無反射端面の電界反射率で、他のパラメータは (2) ~ (5) 式のパラメータと同様である。また、自然放出光を無視すると、注入電流 I に対するレーザの全光出力 P_0 は、(3) 式と同様、※

$$= \eta_{in} \left\{ \left(1/L_1 \right) \ln \left(1/t_{th}^2 C_{out}^2 r_1 r_2 \right) / [\alpha_1 + (1/L_1) \ln (1/t_{th}^2 C_{out}^2 r_1 r_2)] \right\} \quad \dots (8)$$

となる。さらに、レーザから外部に取り出される光出力は、後面及び前面に分かれて出力される。この時、前面★

$$P_{front} / P_{back} = [(1 - R_1) / (1 - R_2)] \sqrt{(R_2 / R_1)} \quad \dots (9)$$

となる。ここで、 R_1 はグレーティングのプラグ波長におけるパワー反射率、 R_2 は前面ミラーのパワー反射率である。本実施例でも、(6) ~ (9) 式に表 1 の上記値を代入することで、良好な I-L 特性を得ることができた。

【0030】本実施例では、この構成に伴つて、レーザ発光素子 11 の後面を反射率 10^{-4} 以下の無反射端面 18 とし、前面を反射率 $0.2 \sim 0.4$ の間の高反射端面 19 とし、外部分布反射器 15 であるグレーティングのプラグ波長における反射率を 0.9 以上として、外部分布反射器 15 と反対側へ所望発振波長のレーザ光を発振することを可能としている。なお、本実施例において、結晶への電圧印加のみで発振波長が変化する原理は、第 1 実施例と同様である。

【0031】従つて、本実施例でも、プラグ波長を調整することができるので、第 1 実施例と同様に、レーザの発振波長を変化させることができ、発振波長の設定が簡便になり、かつ装置構成を小さくできる。ところで、上述したリチウムナイオペイトのような結晶に形成されたグレーティングのプラグ波長は、図 6 の実験結果に示すような温度依存性を持っている。上記実験では、結晶の温度を $10 \sim 30^\circ\text{C}$ の範囲で変化させると、プラグ波長は、その温度変化に比例して変化し、温度上昇に伴つて長波長へとほぼ直線的にシフトする。この特性から変化の傾きは、 $0.006 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ である。従つて、結晶への印加電圧のみで波長可変を実現するためには、温度変化による影響を削減する必要がある。

* 【0028】図 5 は、本発明に係る波長可変外部共振器型レーザの第 2 実施例の構成を示す構成図である。図 5 において、図 1 の第 1 実施例と異なる点は、レーザ発光素子 11 の後面側にグレーティングが形成された結晶を配置して外部分布反射器 15 を構成し、上記外部分布反射器 15 に直流電圧源 16 から電圧を印加して、プラグ波長を可変制御することで、単一縦モードの所望発振波長のレーザ光を発振させることである。

【0029】また、上述した I-L 特性の変化は、以下のように式で表すことができる。すなわち、レーザのしきい電流 I_{th} は、

$$I_{th} = e V_a B_{eff} \left\{ \left[\alpha_1 L_1 / \Gamma + (1/\Gamma L_1) \ln \left(1 / t_{th}^2 C_{out}^2 r_1 r_2 \right) \right] / g' + N_g \right\} \quad \dots (6)$$

$$\text{※ } P_0 = \eta_{in} E_g (I - I_{th}) \quad \dots (7)$$

$$E_g = h v \quad \dots (7)$$

である。ここで、 η_{in} をレーザの内部量子効率 η_{in} を用いて表すと、 $\eta_{in} = \eta_{in} \alpha_1 / (\alpha_1 + \alpha_2)$

$$= \eta_{in} \left\{ \left(1/L_1 \right) \ln \left(1/t_{th}^2 C_{out}^2 r_1 r_2 \right) / [\alpha_1 + (1/L_1) \ln (1/t_{th}^2 C_{out}^2 r_1 r_2)] \right\} \quad \dots (8)$$

★の光出力を P_{front} 、後面の光出力を P_{back} として表すと、

$$P_{front} / P_{back} = [(1 - R_1) / (1 - R_2)] \sqrt{(R_2 / R_1)} \quad \dots (9)$$

【0032】そこで、図 7 の第 3 実施例では、第 1 又は第 2 の実施例に、以下に示す構成部分を付加して構成される。すなわち、上記結晶からなる外部分布反射器 15 の下方に導電性金属 22 を介して、本発明に係る温度制御手段を構成する素子、例えばペルチェ素子 23 を配置して結晶の温度を調整するものとする。さらに、上記結晶には、本発明に係る温度検出手段を構成する温度センサ 24、例えばサーミスタを取り付けて結晶の温度を検出し、上記検出された温度に応じて、本発明に係る温度制御手段を構成する自動温度制御回路 25 が、ペルチェ素子 23 の温度を制御するものとする。すなわち、サーミスタ 24 では、検出温度を電圧信号に変換して自動温度制御回路 25 に出力しており、自動温度制御回路 25 では、基準温度を基準電圧として設定し、入力する上記電圧信号と基準電圧との差をとり、この差に応じて外部分布反射器 15 の温度が一定になるように、ペルチェ素子 23 に流す電流のフィードバック制御を行っている。

【0033】従つて、本実施例では、結晶の温度を一定に保つことが可能となり、グレーティングのプラグ波長の温度変化による影響を削減して、上記プラグ波長を調整することができるので、さらに的確にレーザの発振波長を変化させることができ、発振波長の設定が簡便になり、かつ装置構成を小さくできる。なお、これら実施例において、レーザ光の発振波長を可変制御するためには、例えば光ファイバのレーザ光出力側に光カプラ（図示せず）を取り付け、出力されるレーザ光を分離し、その波長をモニタして直流電圧源にフィードバック

し、印加電圧を調整すれば、グレーティングのプラッグ波長を調整することができ、レーザ光の発振波長を精度良く選別することができる。

【0034】また、図6から判るように、結晶の温度を変化させることでプラッグ波長を変化させることも可能である。そこで、図8に本発明に係る波長可変外部共振器型レーザの第4実施例の構成図を示す。第4実施例では、第3実施例に示した直流電圧源16による結晶への電圧印加を削除し、ペルチェ素子23に流す電流のフィードバック制御のみを行って、外部分布反射器15の温度が可変に調整されるようにし、プラッグ波長を可変制御することで、単一縦モードの所望発振波長のレーザ光を発振させる。

【0035】従って、本実施例では、外部分布反射器の温度を可変調整することによって、プラッグ波長が調整されてレーザの発振周波数を変化させることができるので、発振波長の設定が簡便で、かつ装置構成を小さくできる。

【0036】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、光波の伝送が可能なように光ファイバと光結合され、波長が可変の光波のうちから单一モードのレーザ光を発振して前記光ファイバに伝送する波長可変外部共振器型レーザにおいて、印加される電圧に応じて、異なるプラッグ波長の光波を反射するグレーティングが形成された材質である電気光学効果を有する結晶からなる外部分布反射器と、前記外部分布反射器に印加する電圧を可変に制御する電圧制御手段と、生じた光波を反射する反射面を有し、該反射面と前記グレーティングとの間で該光波を共振させて所定波長のレーザ光を発振するレーザ発光素子とを備えたので、発振波長の設定が簡便で、かつ装置構成を小さくできるとともに、共振器長を短くして緩和振動周波数を高くでき、直接変調ができる。

【0037】また、前記波長可変外部共振器型レーザは、前記外部分布反射器の温度を検出する温度検出手段と、前記検出された温度に応じて、前記外部分布反射器の温度を所定温度に制御する温度制御手段とを備え、外部分布反射器の温度を一定にするので、さらに発振波長の設定を簡便にできる。また、本発明に係る波長可変外部共振器型レーザは、温度に応じて、異なるプラッグ波長の光波を反射するグレーティングが形成された結晶か*

* らなる外部分布反射器と、前記外部分布反射器の温度を検出する温度検出手段と、前記検出された温度に応じて、前記外部分布反射器の温度を可変に制御する温度制御手段とを備え、外部分布反射器の温度を可変に制御することでプラッグ波長を変化させて、単一縦モードで発振するレーザ光の発振波長を可変に制御するので、発振波長の設定が簡便で、かつ装置構成を小さくできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る波長可変外部共振器型レーザの第1実施例の構成を示す構成図である。

【図2】歪多重量子井戸レーザからなる波長可変外部共振器型レーザを用いた実験における、レーザの発振しきい電流の変化を示す関係図である。

【図3】上記実験における反射率 R_s を0.22で一定とし、結合効率 C_{out}^2 をパラメータとした時のI-L特性を示す特性図である。

【図4】上記実験における結合効率 C_{out}^2 を0.6とし、反射率 R_s をパラメータとした時のI-L特性を示す特性図である。

【図5】本発明に係る波長可変外部共振器型レーザの第2実施例の構成を示す構成図である。

【図6】プラッグ波長の温度特性を示す特性図である。

【図7】本発明に係る波長可変外部共振器型レーザの第3実施例の構成を示す構成図である。

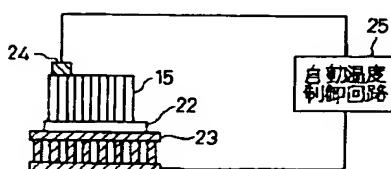
【図8】本発明に係る波長可変外部共振器型レーザの第4実施例の構成を示す構成図である。

【図9】従来の波長可変外部共振器型レーザの構成を示す構成図である。

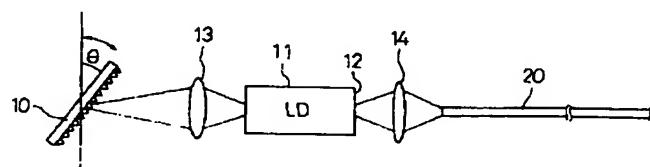
【符号の説明】

- | | |
|----|----------------|
| 30 | 1 1 レーザ発光素子 |
| | 1 3, 1 4 光学レンズ |
| | 1 5 外部分布反射器 |
| | 1 6 直流電圧源 |
| | 1 7 活性層 |
| | 1 8 無反射端面 |
| | 1 9 高反射端面 |
| | 2 0 光ファイバ |
| | 2 1 グレーティング |
| | 2 3 ペルチェ素子 |
| 40 | 2 4 サーミスタ |

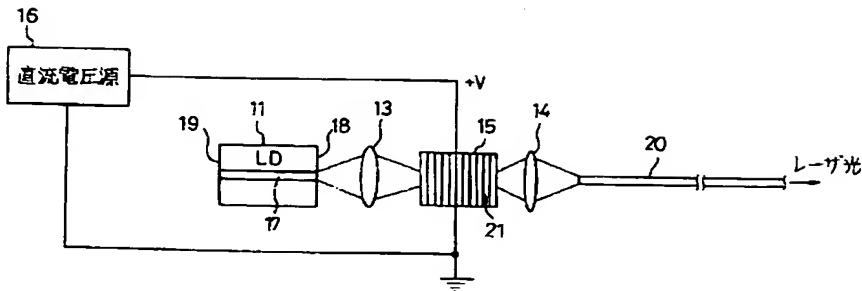
【図8】



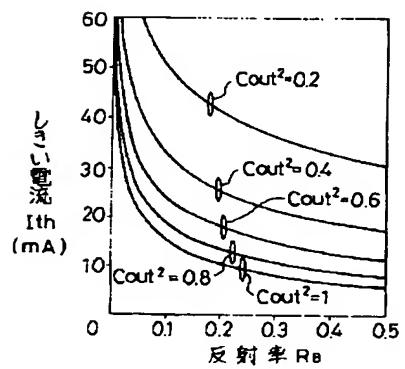
【図9】



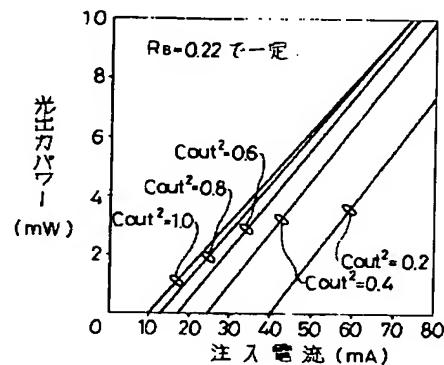
【図1】



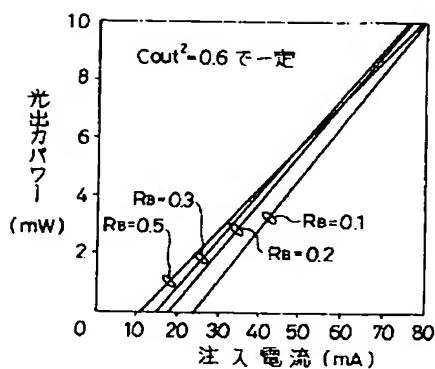
【図2】



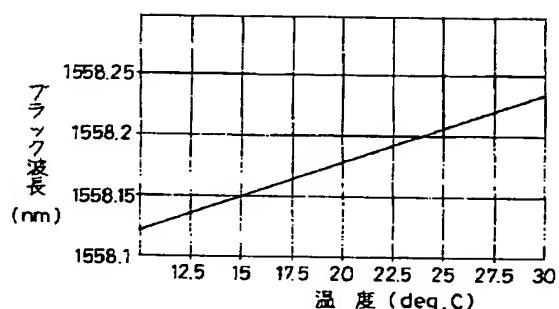
【図3】



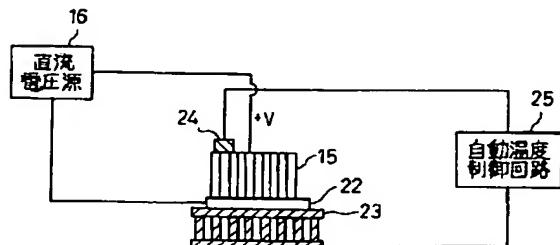
【図4】



【図6】



【図7】



【図5】

